

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-312472

(43) 公開日 平成9年(1997)12月2日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 K 3/46			H 0 5 K 3/46	E
1/11		7128-4E	1/11	N

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平8-128198

(22) 出願日 平成8年(1996)5月23日

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市山科区東野北井ノ上町5番地の22

(72) 発明者 高見 征一

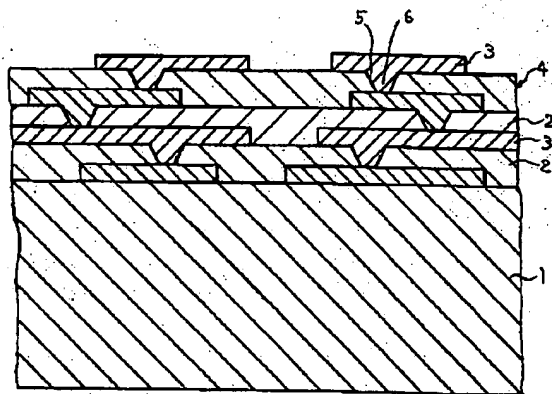
鹿児島県国分市山下町1番1号 京セラ株式会社鹿児島国分工場内

(54) 【発明の名称】 多層配線基板及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 有機樹脂絶縁層の上面に形成される段差によって薄膜配線導体に断線が生じる。

【解決手段】 絶縁基板1上に、有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とを交互に積層するとともに上下に位置する薄膜配線導体3を各有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5内に形成したスルーホール導体6を介して接続して成る多層配線基板であって、前記薄膜配線導体3の厚みが有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5の径の1/2以上であり、且つスルーホール導体6がスルーホール5を完全に埋めている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】絶縁基板上に、有機樹脂絶縁層と薄膜配線導体とを交互に積層するとともに上下に位置する薄膜配線導体を各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内に形成したスルーホール導体を介して接続して成る多層配線基板であって、前記薄膜配線導体の厚みが有機樹脂絶縁層に設けたスルーホールの径の $1/2$ 以上であり、且つスルーホール導体がスルーホールを完全に埋めていることを特徴とする多層配線基板。

【請求項2】絶縁基板上に、(1)感光性有機樹脂前駆体の塗布、露光、現像によってスルーホールを有する有機樹脂絶縁層を形成する工程と、(2)前記スルーホールを有する有機樹脂絶縁層の上面にめっき法により銅を前記有機樹脂絶縁層に形成したスルーホールの径に対し $1/2$ 以上の厚みに所定パターンに被着させるとともに同時にスルーホール内に銅を完全に充填させる工程と、(3)上記(1)及び(2)の工程を交互に繰り返す工程、とからなる多層配線基板の製造方法。

【請求項3】絶縁基板上に、(1)有機樹脂前駆体の塗布、熱処理及び孔開け加工によってスルーホールを有する有機樹脂絶縁層を形成する工程と、(2)前記スルーホールを有する有機樹脂絶縁層の上面にめっき法により銅を前記有機樹脂絶縁層に形成したスルーホールの径に対し $1/2$ 以上の厚みとなるように被着させるとともに同時にスルーホール内に銅を完全に充填させる工程と、(3)上記(1)及び(2)の工程を交互に繰り返す工程、とからなる多層配線基板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多層配線基板に関し、より詳細には混成集積回路装置や半導体素子を収容する半導体素子収納用パッケージ等に使用される多層配線基板に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、混成集積回路装置や半導体素子収納用パッケージ等に使用される多層配線基板はその配線導体がMo-Mn法等の厚膜形成技術によって形成されている。

【0003】このMo-Mn法は通常、タングステン、モリブデン、マンガン等の高融点金属粉末に有機溶剤、溶媒を添加混合し、ペースト状となした金属ペーストを生セラミック体の外表面にスクリーン印刷法により所定パターンに印刷塗布し、次ぎにこれを複数枚積層するとともに還元雰囲気中で焼成し、高融点金属粉末と生セラミック体とを焼結一体化させる方法である。

【0004】尚、前記配線導体が形成されるセラミック体としては通常、酸化アルミニウム質焼結体やムライト質焼結体等の酸化物系セラミックス、或いは表面に酸化物膜を被着させた窒化アルミニウム質焼結体や炭化珪素質焼結体等の非酸化物系セラミックが使用される。

【0005】しかしながら、このMo-Mn法を用いて配線導体を形成した場合、配線導体は金属ペーストをスクリーン印刷することにより形成されることから微細化が困難で配線導体を高密度に形成することができないという欠点を有していた。

【0006】そこで上記欠点を解消するために配線導体を従来の厚膜形成技術で形成するのに変えて微細化が可能な薄膜形成技術を用いて高密度に形成した多層配線基板が使用されるようになってきた。

【0007】かかる配線導体を薄膜形成技術により形成した多層配線基板は、酸化アルミニウム質焼結体等から成るセラミックやガラス繊維を織り込んだガラス布にエポキシ樹脂を含浸させて形成されるガラスエポキシ等から成る絶縁基板の上面にスピコート法及び熱硬化処理等によって形成されるエポキシ樹脂等の有機樹脂から成る絶縁層と、銅やアルミニウム等の金属をめっき法や蒸着法等の薄膜形成技術及びフォトリソグラフィ技術を採用することによって形成される薄膜配線導体とを交互に多層に積層させた構造を有している。

【0008】またこの多層配線基板においては、積層された各有機樹脂絶縁層間に配設されている薄膜配線導体各有機樹脂絶縁層に形成したスルーホールの内壁に被着されているスルーホール導体を介して電氣的に接続されており、各有機樹脂絶縁層へのスルーホールの形成は各有機樹脂絶縁層上にレジスト材を塗布するとともにこれを露光、現像を施すことによって所定位置に所定形状の窓部を形成し、次に前記レジスト材の窓部にエッチング液を配し、レジスト材の窓部に位置する有機樹脂絶縁層を除去して、有機樹脂絶縁層に穴(スルーホール)を形成し、最後に前記レジスト材を有機樹脂絶縁層上より剝離させ除去することによって行われている。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この従来の多層配線基板においては、有機樹脂絶縁層と薄膜配線導体とを交互に積層して多層配線基板となす際、上部に配される有機樹脂絶縁層の表面に下部に配される有機樹脂絶縁層に設けたスルーホールに起因して段差が形成され、該段差によって各有機樹脂絶縁層上に薄膜形成技術及びフォトリソグラフィ技術を採用することにより形成される薄膜配線導体の厚みにバラツキや断線が生じ、多層配線基板として所望する特性を十分に発揮させることができないという欠点を有していた。

【0010】またこの従来の多層配線基板においては、各有機樹脂絶縁層に形成するスルーホールの位置を同一とし、上部の有機樹脂絶縁層のスルーホールに被着させたスルーホール導体と下部の有機樹脂絶縁層のスルーホールに被着させたスルーホール導体とを電氣的に接続する場合、上部に位置する有機樹脂絶縁層へのスルーホールの形成が下部の有機樹脂絶縁層のスルーホール内に充填されている有機樹脂絶縁層を同時に除去して行わなけ

ればならず、スルーホール形成に長時間を要し、量産性が劣り、製品としての多層配線基板を高価となすとともにスルーホールの径が上部に向かう程、大きくなり、所定寸法のスルーホールを正確に形成することができないという欠点も有していた。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は上記欠点に鑑み案出されたもので、その目的は有機樹脂絶縁層と薄膜配線導体とを交互に多層に積層して成る多層配線基板であって、前記薄膜配線導体の厚みバラツキ及び断線を有効に防止し、これによって所望する特性を充分に発揮することができ、多層配線基板を提供することにある。

【0012】本発明は、絶縁基板上に、有機樹脂絶縁層と薄膜配線導体とを交互に積層するとともに上下に位置する薄膜配線導体を各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内に形成したスルーホール導体を介して接続して成る多層配線基板であって、前記薄膜配線導体の厚みが有機樹脂絶縁層に設けたスルーホールの径の $1/2$ 以上であり、且つスルーホール導体がスルーホールを完全に埋めていることを特徴とするものである。

【0013】また本発明は上記多層配線基板の製造方法であって、絶縁基板上に、(1)感光性有機樹脂前駆体の塗布、露光、現像によってスルーホールを有する有機樹脂絶縁層を形成する工程と、(2)前記スルーホールを有する有機樹脂絶縁層の上面にめっき法により銅を前記有機樹脂絶縁層に形成したスルーホールの径に対し $1/2$ 以上の厚みに所定パターンに被着させるとともに同時にスルーホール内に銅を完全に充填させる工程と、

(3)上記(1)及び(2)の工程を交互に繰り返す工程、とからなることを特徴とするものである。

【0014】更に本発明は前述の多層配線基板の製造方法であって、絶縁基板上に、(1)有機樹脂前駆体の塗布、熱処理及び孔開け加工によってスルーホールを有する有機樹脂絶縁層を形成する工程と、(2)前記スルーホールを有する有機樹脂絶縁層の上面にめっき法により銅を前記有機樹脂絶縁層に形成したスルーホールの径に対し $1/2$ 以上の厚みに所定パターンに被着させるとともに同時にスルーホール内に銅を完全に充填させる工程と、(3)上記(1)及び(2)の工程を交互に繰り返す工程、とからなることを特徴とするものである。

【0015】本発明の多層配線基板によれば、各有機樹脂絶縁層上に薄膜配線導体を被着させる際に同時に各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホールにスルーホール導体を充填させ、該スルーホール導体でスルーホールを完全に埋めたことから、各有機樹脂絶縁層の上面はほぼ平坦となり、その結果、各有機樹脂絶縁層の上面に薄膜形成技術及びフォトリソグラフィ技術を採用することによって形成される薄膜配線導体はその厚みにバラツキが発生したり、断線を生じたりすることはなく、多層配線基板に所望する特性を充分に発揮させることが可能とな

る。

【0016】また本発明の多層配線基板によれば、前記各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内へのスルーホール導体の充填が各有機樹脂絶縁層の上面に薄膜配線導体を被着させる際に同時に行われ、これによって多層配線基板の製造工程を簡単、且つ確実として製品としての多層配線基板を安価となすことができる。

【0017】更に本発明の多層配線基板によれば、各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内には該スルーホールを完全に埋めるようにしてスルーホール導体が充填されている。そのため上部に位置する有機樹脂絶縁層にスルーホールを形成する場合、スルーホールは各有機樹脂絶縁層の厚み分だけ除去すればよく、スルーホールの形成が短時間で、製品としての多層配線基板の量産性が向上するとともにスルーホールの径を所定の寸法に正確に形成することも可能となる。

【0018】

【発明の実施の形態】次に、本発明を添付図面に基づき詳細に説明する。図1は、本発明の多層配線基板の一実施例を示し、1は絶縁基板、2は有機樹脂絶縁層、3は薄膜配線導体である。

【0019】前記絶縁基板1はその上面に有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とから成る多層配線4が配設されており、該多層配線4を支持する支持部材として作用する。

【0020】前記絶縁基板1は酸化アルミニウム質焼結体やムライト質焼結体等の酸化物系セラミックス、或いは表面に酸化物膜を有する窒化アルミニウム質焼結体、炭化珪素質焼結体等の非酸化物系セラミックス、更にはガラス繊維を織り込んだ布にエポキシ樹脂を含浸させたガラスエポキシ樹脂等の電気絶縁材料で形成されており、例えば酸化アルミニウム質焼結体で形成されている場合には、アルミナ( $Al_2O_3$ )、シリカ( $SiO_2$ )、カルシア( $CaO$ )、マグネシア( $MgO$ )等の原料粉末に適当な有機溶剤、溶媒を添加混合して泥漿状となすとともにこれを従来周知のドクターブレード法やカレンダーロール法を採用することによってセラミックグリーンシート(セラミック生シート)を形成し、しかる後、前記セラミックグリーンシートに適当な打ち抜き加工を施し、所定形状となすとともに高温(約 $1600^{\circ}C$ )で焼成することによって、或いはアルミナ等の原料粉末に適当な有機溶剤、溶媒を添加混合して原料粉末を調整するとともに該原料粉末をプレス成形機によって所定形状に成形し、最後に前記成形体を約 $1600^{\circ}C$ の温度で焼成することによって製作される。

【0021】前記絶縁基板1はまたその上面に有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とが交互に多層に配設されて多層配線4が被着されており、該多層配線4を構成する有機樹脂絶縁層2は上下に位置する薄膜配線導体3の電氣的絶縁を図る作用を為すとともに薄膜配線導体3は電

気信号を伝達するための伝達路として作用する。

【0022】尚、前記多層配線4の有機樹脂絶縁層2は、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ビスマレイミドポリアジド樹脂、ポリフェニレンエーテル樹脂、ふっ素樹脂等の樹脂から成り、スピンコート法等を採用することによって絶縁基板1の上部に所定厚みに被着される。

【0023】また前記多層配線4の有機樹脂絶縁層2はその各々の所定位置にスルーホール5が形成されており、該スルーホール5は後述する有機樹脂絶縁層2を介して上下に位置する薄膜配線導体3の各々を電氣的に接続するスルーホール導体6を形成するための形成孔として作用する。

【0024】更に前記有機樹脂絶縁層2の上面には銅から成る所定パターンの薄膜配線導体3が、また各有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5内には銅から成るスルーホール導体6が各々配設されており、スルーホール導体6によって間に有機樹脂絶縁層2を挟んで上下に位置する各薄膜配線導体3の各々が電氣的に接続されるようになっている。

【0025】前記薄膜配線導体3はその厚みが有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5の径の $1/2$ 以上となっており、該薄膜配線導体3の厚みを有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5の径の $1/2$ 以上としておくと、有機樹脂絶縁層2の上面に薄膜配線導体3を例えば、無電解めっき法等を採用することによって被着させる際、その一部がスルーホール5内に充填されてスルーホール5を完全に埋めることとなり、その結果、有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とを交互に積層して多層配線4となす際、上部に配される有機樹脂絶縁層2の表面に下部に配される有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5に起因する段差が形成されることはなく、該段差によって各有機樹脂絶縁層2上に形成される薄膜配線導体3の厚みにバラツキや断線が生じることもない。

【0026】尚、前記有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とを交互に多層に配設して形成される多層配線4は各有機樹脂絶縁層2の上面を中心線平均粗さ(Ra)で $0.05\mu\text{m} \leq \text{Ra} \leq 5\mu\text{m}$ の粗面としておくと有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3との接合及び上下に位置する有機樹脂絶縁層2同士の接合を強固となすことができる。従って、前記多層配線4の各有機樹脂絶縁層2はその上面をエッチング加工法等によって粗し、中心線平均粗さ(Ra)で $0.05\mu\text{m} \leq \text{Ra} \leq 5\mu\text{m}$ の粗面としておくことが好ましい。

【0027】また前記有機樹脂絶縁層2はその各々の厚みが $100\mu\text{m}$ を越える有機樹脂絶縁層2にスルーホール5を形成する際、スルーホール5を所望する鮮明な形状に形成するのが困難となり、また $5\mu\text{mm}$ 未満となると有機樹脂絶縁層2の上面に上下に位置する有機樹脂絶縁層2の接合強度を上げるための粗面加工を施す際、有機樹脂絶縁層2に不要な穴が形成され上下に位置する

薄膜配線導体3に不要な電氣的短絡を招来してしまう危険性がある。従って、前記有機樹脂絶縁層2はその各々の厚みを $5\mu\text{m}$ 乃至 $100\mu\text{m}$ の範囲としておくことが好ましい。

【0028】更に前記多層配線4の各薄膜配線導体3はその厚みが $1\mu\text{m}$ 未満となると各薄膜配線導体3の電気抵抗が大きなものとなって各薄膜配線導体3に所定の電気信号を伝達させることが困難なものとなり、また $40\mu\text{m}$ を越えると薄膜配線導体3を有機樹脂絶縁層2に被着させる際に薄膜配線導体3の内部に大きな応力が内在し、該大きな内在応力によって薄膜配線導体3が有機樹脂絶縁層2から剥離し易いものとなる。従って、前記多層配線4の各薄膜配線導体3の厚みは $1\mu\text{m}$ 乃至 $40\mu\text{m}$ の範囲としておくことが好ましい。

【0029】次に上述の多層配線基板の製造方法について図2に基づき説明する。まず図2(A)に示す如く、上面に配線導体2aを有する絶縁基板1を準備する。前記絶縁基板1はガラス繊維を織り込んだ布にエポキシ樹脂を含浸させたガラスエポキシ樹脂や、酸化アルミニウム質焼結体、ムライト質焼結体等の酸化物系セラミックス、或いは表面に酸化物膜を有する窒化アルミニウム質焼結体、炭化珪素質焼結体等の非酸化物系セラミックス等の電気絶縁材料で形成されており、配線導体2は絶縁基板1に被着させた薄い銅板をエッチング加工法により所定パターンに加工することによって、あるいは金属ペーストを絶縁基板1上にスクリーン印刷法により所定パターンに印刷塗布するとともにこれを所定の温度で焼き付けることによって形成されている。

【0030】次に図2(b)に示す如く、前記上面に配線導体2aを有する絶縁基板1上にスルーホール5を有する有機樹脂絶縁層2を、該スルーホール5が絶縁基板1の配線導体2上に位置するようにして被着形成する。

【0031】前記有機樹脂絶縁層2はエポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ビスマレイミドポリアジド樹脂、ポリフェニレンエーテル樹脂、ふっ素樹脂等の感光性、或いは熱硬化性の樹脂から成り、例えば感光性のエポキシ樹脂からなる場合には、フェノールノボラック樹脂、メチロールメラミン、ジアリルジアゾニウム塩にプロピレングリコールモノメチルエーテルアセテートを添加混合してペースト状の感光性エポキシ樹脂前駆体を得るとともにこれを絶縁基板1の上面にスピンコート法やドクターブレード法等により所定厚みに被着させ、次に被着させた感光性エポキシ樹脂前駆体の上部に所定のマスクを配置させるとともに高圧水銀ランプ等を用いた露光機で感光性エポキシ樹脂前駆体の所定位置に $1 \sim 3 \text{ J/cm}^2$ のエネルギーを照射して露光を行い、しかる後、露光した感光性エポキシ樹脂前駆体をスプレー現像機で現像し、配線導体2a上にスルーホール5となる穴を形成するとともにこれを $180^\circ\text{C}$ の温度で $30 \sim 60$ 分間加熱し、完全に硬化させることによって形成され、また熱硬化性

のエポキシ樹脂から成る場合には、ビスフェノールA型エポキシ樹脂、ノボラック型エポキシ樹脂、グリシジルエステル型エポキシ樹脂等にアミン系硬化剤、イミダゾール系硬化剤、酸無水物系硬化剤等の硬化剤を添加混合してペースト状のエポキシ樹脂前駆体を得るとともに該エポキシ樹脂前駆体を上面に配線導体2aを有する絶縁基板1上にスピンコート法等により被着させ、しかる後、これを80℃～200℃の熱で0.5～3時間熱処理し、熱硬化させるとともに配線導体2a上にYAGレーザー、エキシマレーザー等により穴をあけ、スルーホール5を形成することによって形成される。

【0032】そして次に図2(c)に示す如く、前記有機樹脂絶縁層2の上面に薄膜配線導体2を、有機樹脂絶縁層2に形成したスルーホール5内にスルーホール導体6を充填する。前記有機樹脂絶縁層2の上面及びスルーホール5内に形成充填される薄膜配線導体3及びスルーホール導体6は銅から成り、例えば無電解めっき法、具体的にはスルーホール5を有する有機樹脂絶縁層2が被着された絶縁基板1を硫酸銅0.06モル/リットル、ホルマリン0.3モル/リットル、水酸化ナトリウム0.35モル/リットル、エチレンジアミン四酢酸0.35モル/リットルから成る無電解メッキ浴中に浸漬して有機樹脂絶縁層2の上面及びスルーホール5の内部に銅層を被着させ、しかる後、前記有機樹脂絶縁層2の上面に被着されている銅層をフォトリソグラフィ技術により所定パターンに加工することによって形成される。この場合、薄膜配線導体3は薄膜形成技術により形成されることから配線の微細化が可能であり、これによって薄膜配線導体3を極めて高密度に形成することが可能となる。

【0033】また前記有機樹脂絶縁層2の上面に被着される薄膜配線導体3はその厚みが有機樹脂絶縁層2に形成したスルーホール5の径に対し1/2以上の厚みとなるように被着され、これによって有機樹脂絶縁層2の上面に薄膜配線導体3を無電解めっき法により被着させる際に有機樹脂絶縁層2に設けたスルーホール5の内部に銅から成るスルーホール導体6が同時に、且つスルーホール5を完全に埋めるようにして形成され、多層配線基板の製造工程が簡単、且つ確実となって製品としての多層配線基板を安価となすことができる。

【0034】そして上記有機樹脂絶縁層2の形成及び薄膜配線導体3の形成を交互に行えば図1に示す絶縁基板1の上面に有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とを交互に積層するとともに上下に位置する薄膜配線導体を各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内に形成したスルーホール導体を介して接続して成る製品としての多層配線基板が完成する。

【0035】また前記絶縁基板1上に有機樹脂絶縁層2と薄膜配線導体3とを交互に積層する場合、各有機樹脂絶縁層2に形成するスルーホール5が同一位置であって

も、各スルーホール5内には該スルーホール5を完全に埋めるようにしてスルーホール導体6が充填されているため上部に位置する有機樹脂絶縁層2にスルーホール5を形成する際、そのスルーホール5は有機樹脂絶縁層2の厚み分だけ除去すればよく、スルーホール5の形成が短時間で、製品としての多層配線基板の量産性が向上するとともにスルーホールの径を所定の寸法に正確に形成することも可能となる。

【0036】尚、本発明は上述の実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲であれば種々の変更は可能であり、例えば上述の実施例では、薄膜配線導体3及びスルーホール導体6を無電解めっき法で形成したが、これに限定されるものではなく、無電解めっき法と電解めっき法の両方を併用して形成してもよい。

【0037】

【発明の効果】本発明の多層配線基板によれば、各有機樹脂絶縁層上に薄膜配線導体を被着させる際に同時に各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホールにスルーホール導体を充填させ、該スルーホール導体でスルーホールを完全に埋めたことから、各有機樹脂絶縁層の上面はほぼ平坦となり、その結果、各有機樹脂絶縁層の上面に薄膜形成技術及びフォトリソグラフィ技術を採用することによって形成される薄膜配線導体はその厚みにバラツキが発生したり、断線を生じたりすることはなく、多層配線基板に所望する特性を充分に発揮させることが可能となる。

【0038】また本発明の多層配線基板によれば、前記各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内へのスルーホール導体の充填が各有機樹脂絶縁層の上面に薄膜配線導体を被着させる際に同時に行われ、これによって多層配線基板の製造工程を簡単、且つ確実として製品としての多層配線基板を安価となすことができる。

【0039】更に本発明の多層配線基板によれば、各有機樹脂絶縁層に設けたスルーホール内には該スルーホールを完全に埋めるようにしてスルーホール導体が充填されている。そのため上部に位置する有機樹脂絶縁層にスルーホールを形成する場合、スルーホールは各有機樹脂絶縁層の厚み分だけ除去すればよく、スルーホールの形成が短時間で、製品としての多層配線基板の量産性が向上するとともにスルーホールの径を所定の寸法に正確に形成することも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の多層配線基板の一実施例を示す断面図である。

【図2】(a)(b)(c)は本発明の多層配線基板の製造方法を説明するための各工程毎の断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・絶縁基板
- 2・・・有機樹脂絶縁層

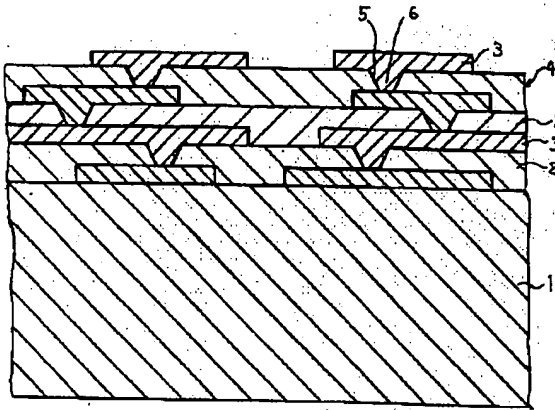
(6)

特開平9-312472

3...薄膜配線導体  
4...多層配線

5...スルーホール  
6...スルーホール導体

【図1】



【図2】

